

IV-1 高校の土木応用力学をどのように教えるか

東京都立小石川工業高等学校 正会員 三浦 基弘

(a) はじめに

ここ10年来、授業の内容を精選、工夫をして生徒に教えてきたが、年々変わりゆく生徒に、いままでの教え方では通じなくなる場合が少くない。特に現在入学してくる生徒は数学の基礎学力が不足しているのが目立っている。一年生の「応用力学」の授業の一部を「数学」に費やしているのが実情である。

一方、高等学校学習指導要領の改訂で卒業に必要な総単位数が85単位から80単位に減少した。その結果、専門科目の最低履習単位数が35単位から30単位へと減少し、当然「応用力学」の履習単位数にも影響がでてきた。しかも今後「土木応用力学」と「土木設計」（鉄筋コンクリート工学、橋梁工学）が組み合わせられて「土木設計」となるのである。このようにある意味では劣悪な条件のもとで、教師は努力しなくてはならない立場にある。

今回は橋などの構造物の設計にかかせない「断面係数」の教え方の工夫について述べてみたい。

(b) 中学校の教科書で「断面係数」の説明は どうなっているか

中学校の「技術・家庭」の教科書の木材加工のところに、図-1のような絵が載せてある。その説明は、「角材は、その大きさおよび形状によって強さがちがう。図は、曲げの力が加えられるときの角材の形と、それぞれの強さを示すものである。部品の材料は、使用箇所によって、加えられる力の方向と大きさを考え、その形や寸法をくふうすることがたいせつである。」（傍点は筆者）とある。また、金属加工のところで図-2があった。その説明をみると、「うすい板金は、多くの長所をもっているが、曲げようとする力に対して弱く、変形しやすい欠点がある。したがってものをつくるときには、ふちの形や全体の構造をくふうして、じょうぶにすることがたいせつである。」（傍点は筆者）とある。両方の説明に、「くふう」という言葉がでてくるのだが、「くふう」する科学的なうづけがないのである。もっとも、中学校の教科書という制約もある。しかし、中学生にふさわしい説明もしてほしい気がするのである。

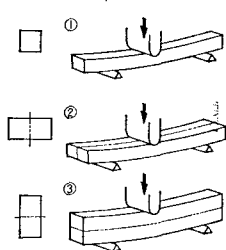


図1 曲げの力と角材のじょうぶな使い方
① この強さを1とすると ② 2倍の強さになる ③ 4倍の強さになる

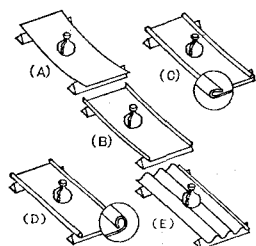


図2 同じ厚さ・大きさの板金の強さ
(A) 平板 よく曲がる。 (B) 折り曲げ やや曲がりにくくなる。 (C) 折り返し やや曲がりにくくなる。 (D) ふちまき 曲がりにくい。 (E) 波形 曲がりにくい。 (A), (B), (C), (D), (E)の試験片は、同じ厚さ、大きさの材料からつくったものとし、おもりの重さ、支点間の距離は同じとする。

(c) 高校の教科書「土木応用力学」で「断面係数」の説明は どうなっているか

A社の教科書には、こう説明されている。「図-3において、図心軸X-Xに関する断面二次モーメントを I_x 、図心軸から上縁までの距離を y_u 、下縁までの距離を y_l とすると、上縁の断面係数 W_u 、下縁の断面係数 W_l は、次のようにあらわえられる。 $W_u = I_x / y_u$ 、 $W_l = I_x / y_l$ この断面係数 W は、曲げモーメントに抵抗する度合をあらわす。また、断面係数は、（断面二次モーメント）/（図心軸から最上縁または最下縁までの距離）であるから、単位は cm^3 、 m^3 であらわえられる。」

この説明では生徒になかなかわかりにくい。つまり生徒にとって、なぜ「断面係数」は、断面二次モーメントを図心軸から上縁あるいは下縁までの距離で割ればよいのかという疑問である。なぜ、「断面係数」が必要になったかという必然性が説明されていないから、理解しにくいのは当然なのである。

(d) いままで 私は「断面係数」を どう教えたか

私は次のように生徒に説明をしてきた。図-4のようにPという力が荷せられると、棒は曲がる。上側が縮み、下側は伸びる。つまり上側から下側に向けて縮みが小さくなり、縮みでもない、伸びでもないところ、これを中立軸（neutral axis）という。これを経た、だんだん伸びが大きくなる。これは規則的（ロバート・フック

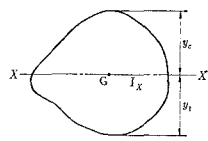


図3

の法則にしたがって)におこなわれていて、ゆのような応力分布になることが知られている。 σ を応力度(応力とは外力に対して応ずる力のことである。内力といってもよい。応力度とは応力の度合のことである。)とし、幅が**b**、高さ**h**の棒があるとすると、つりあいの条件で $C=T$ 、作用点間の距離を**z**とすれば、偶力が働き、曲げモーメントは $M=C \cdot z = T \cdot z \cdots \cdots (1)$ となる。ここで**C**は、三角形の面積と考えてよいから、 $C = \sigma \times \frac{1}{2} \times 2 \times b = \sigma b h / 4 \cdots \cdots (2)$ となる。

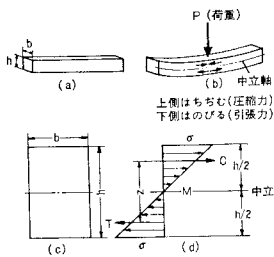


図4 σ : 応力度 C : 圧縮力
 T : 引張力 M : 曲げモーメント

一方、**z**は三角形の重心間隔であるから $z = h / 2 \times 2 / 3 \times 2 = 2 h / 3 \cdots \cdots (3)$ となる。(2)、(3)を(1)に代入すると、 $M = b h^2 / 6 \times \sigma$

$\therefore \sigma = M / \frac{b h^2}{6} = M / W$ (W は断面係数という)となる。だから、図-1の②は**b**が二倍になるから二倍の強さになり、③は**h**が二倍になると二乗にきいてくるから四倍の強さになるわけである。縁応力**σ**が求められたいという、この説明は比較的生徒に理解されてきた。つけ加えて、図-4の応力分布がわかると、中立軸付近では、応力が比較的働いていないことを生徒に気がつかせ、机や椅子に用いられている鉄パイプをみて、同じ断面積であれば、中空の方が、

中実のより曲げに強いことを理解させてきた。また、稲や麦の穂などの話をし、「自然は すぐれた 力学の大家である。」と説明をしてきたのである。

しかし、残念なことに現在の生徒を教えていると、上記の方法でも理解しにくくなってきているのである。

(d) 今回は「断面係数」の説明に どう工夫をし 試みたか

力を面積におきかえるのは、上記の方法でも一部試みているが、今回はすべて力を面積におきかえて、それそれの断面を設定し、視覚的に面積の比較をおこない、生徒に理解させた。

まず図-5の圧縮力**C**の面積計算をおこなわせる。(a)における**C**は上記で求めたように、 $C = \sigma b h / 4 \cdots \cdots (1)$ である。高さを二倍、つまり**2h**にすると、もとの**h**より上下に**h/2**ずつ伸ばす。すると上縁の応力度は、正比例の関係で**2σ**になる。よって $C = 2 \sigma b h / 2 = 4 \times \sigma b h / 4 \cdots \cdots (2)$ となる。これで高さが二倍になると、(a)と比べて四倍強くなることがわかる。(b)を参照)

次に(c)のように幅が二倍になった場合、**b**×**h**の長方形が二個重なったと考える。そして重ね合わせの法(Superposition method)を利用する。すると、 $C = 2 \sigma \times \frac{b h}{2} / 2 = 2 \times \sigma b h / 4 \cdots \cdots (3)$ となる。よって幅が二倍になると、(a)に比べて(c)は二倍強くなることがわかる。

しかし生徒にやさしく、わかりやすくする方法を追究することも大切なことであるが、そればかりではいけないのである。私は上記のことを理解させて、いままでの教え方にも引継いでいる。そして抽象的に発展させる努力を怠らないように心がけている。そうしないと生徒の思考力が高まっていかないからである。

(e) おわりに

現場の教師は日頃、授業の教授法にいろいろ悩んでいるのが実状である。生徒が年々変化しているのに合わせて教授法も考えていなくてはならない。今回「断面係数」の教え方の一考察を紹介したが、関係諸氏の忌憚のないご批判をいただければ、幸甚である。

参考文献 拙書 「物理の学校」(東京図書)

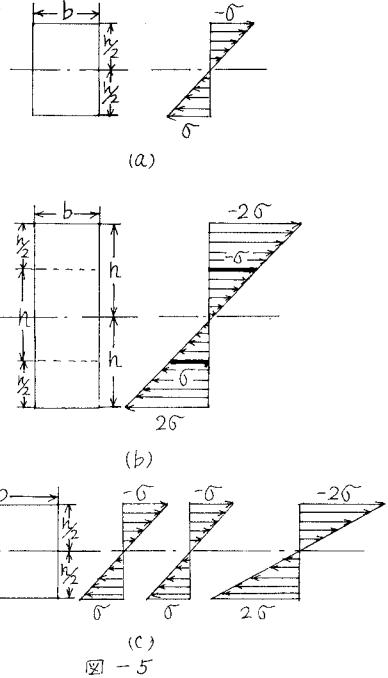


図-5